

ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

УДК 621.396.96

д.т.н, проф. **Дружинін В.А.** (КНУ)
к.т.н. **Цьопа Н.В.** (КП)
к.т.н., с.н.с. **Жиров Г.Б.** (КНУ)
к.т.н., доц. **Четверіков І.О.** (КНУ)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2020/66-01>

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ АВІАЦІЙНО-НАЗЕМНОГО БАЗУВАННЯ ІЗ ЗМІННОЮ В ЧАСІ ВІДНОСНОЮ ПРОСТОРОВОЮ КОНФІГУРАЦІЄЮ

Робота присвячена розгляду сучасного стану та тенденції розвитку радіолокаційних систем авіаційно-наземного базування із змінною в часі відносною просторовою конфігурацією. Актуальність розгляду стану та тенденцій розвитку радіолокаційних систем авіаційно-наземного базування із змінною в часі відносною просторовою конфігурацією обумовлена практичною необхідністю отримання радіолокаційних зображень об'єктів в передній зоні огляду системи з урахуванням зростаючих вимог до оперативності й точності визначення (виявлення) зображень об'єктів спостереження в реальному масштабі часу в умовах складної сигнально-завадової обстановки.

Наведена загальна структура побудови наведених в роботі систем та визначені основні перспективи їх практичного застосування при вирішенні завдань класифікації радіолокаційних об'єктів та моніторингу джерел радіовипромінювання.

Наведено оцінки основних якісних характеристик зображень радіолокаційних об'єктів при застосуванні розглянутих систем та оцінки точності визначення координат джерел радіовипромінювання на підставі апробованого математичного апарату.

Визначені пріоритетні напрями наукових досліджень щодо подальшого розвитку теорії багатопозиційного прийому радіолокаційної інформації в умовах інформаційної невизначеності при застосуванні систем із змінною в часі відносною просторовою конфігурацією.

Ключові слова: радіолокаційні системи авіаційно-наземного базування із змінною в часі відносною просторовою конфігурацією, радіолокаційний об'єкт, радіолокаційне зображення, роздільність за азимутом, радіомоніторинг, радіометричне розділення, динамічний діапазон.

Вступ та аналіз останніх досліджень. Актуальність розгляду стану та тенденцій розвитку радіолокаційних систем авіаційно-наземного базування із змінною в часі відносною просторовою конфігурацією обумовлена практичною необхідністю отримання радіолокаційних зображень (РЛЗ) об'єктів в передній зоні огляду системи з урахуванням зростаючих вимог до оперативності й точності визначення (виявлення) зображень об'єктів спостереження в реальному масштабі часу в умовах складної сигнально-завадової обстановки.

Слід зазначити, що в останній час спостерігається активне впровадження технологій робототехніки в різні галузі практичної діяльності. Використання безпілотних радіокерованих літальних апаратів - один з основних напрямків робототехніки. Дистанційно пілотовані літальні апарати (ДПЛА) вже застосовуються для вирішення таких важливих технічних завдань, як картографія та моніторинг місцевості.

Сучасні бортові радіотехнічні системи (БРТС) спостереження за землею поверхнею та навколосемним простором, що встановлюються на літальних апаратах (ЛА), мають ряд переваг (у порівнянні з оптичними системами), а саме: незначну залежність від метеорологічних умов, спроможність роботи в будь-який час, можливість вимірювань дальності поряд із кутовими координатами, що дозволяє отримувати тривимірні зображення. Всі ці переваги надають актуальність розробкам радіолокаційних систем авіаційно-наземного базування із змінною в часі відносною просторовою конфігурацією.

Актуальність запропонованої тематики підтверджується сучасними науковими і технічними тенденціями. У працях [1,2] розглянуті основи побудови багатопозиційної системи із СА. У [3,4] розглянуті основи радіомоніторингу з точки зору виконання вимог електромагнітної сумісності різних систем зв'язку, санітарних норм і законодавчих обмежень. У [5-11] розглянуті основи синтезу апертур для вирішення практичних завдань щодо підвищення роздільної здатності радіолокаційних об'єктів.

Разом з цим існує ряд практично важливих науково-технічних проблем, пов'язаних з отриманням радіозображень (РЗ) високого розділення в різних режимах спостереження, в тому числі в передній зоні огляду, та використанням даної інформації для виконання практичних завдань у процесі виявлення, розпізнавання та супроводу об'єктів спостереження.

Постановка завдання. Сучасні концепції розвитку даних систем орієнтовані на створення багатофункціональних засобів спостереження за поверхнею і повітряною обстановкою з підвищеною детальністю зображень за лінією польоту і якістю зображень, необхідних для інформаційного забезпечення польотів ЛА та споживачів такої інформації. У контексті визначених концепцій гостро стоїть питання щодо вдосконалення методів отримання і обробки зображень поверхні та повітряної обстановки в різних режимах польоту носіїв радіолокаційних засобів систем авіаційно-наземного базування. Таким чином, у роботі розглядаються питання зі створенням відповідного методичного і алгоритмічного апарату для існуючих і перспективних бортових радіолокаційних засобів (БРЛЗ) і обробки РЛЗ, який повинен охоплювати основні режими спостереження за поверхнею і повітряною обстановкою за курсом польоту ЛА на базі визначеної системи.

Основна частина. На даний час закордонними та вітчизняними фахівцями велика увага приділяється використанню теорії синтезованих апертур для вирішення практичних завдань щодо підвищення роздільної здатності радіолокаційних об'єктів [5-11].

Згідно теорії синтезованих апертур мінімальну ділянку розділення реалізує напівактивний режим моніторингу елементів місцевості, за умов: $\vec{V}_{ПРД} = \vec{V}_{ПРМ}$; $\theta_{ПРД} = \theta_{ПРМ}$; $R_H = R_n$ - відстань від об'єкту моніторингу до «підсвітлювача» набагато більша відстані від об'єкту до приймальної позиції перед початком синтезування апертури (рис. 1).

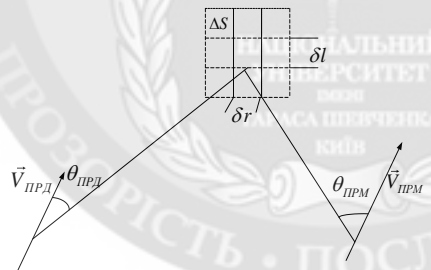


Рисунок 1 – Орієнтація векторів руху Н РЛВ відносно елементів місцевості

Структурна побудова НА РЛС АНБ, згідно з якою кожний бортовий радіолокаційний вимірювач (БРЛВ) реалізує цифрову передачу РЛІ (рис. 2), яка має наступні переваги: високу точність її трансляції й відображення, практично недосягну при сучасній технології в аналогових системах; високу завадостійкість, можливість багаторазової ретрансляції й перезапису інформації; малу питому витрату смуги частот та зручність використання часового розподілу каналів.

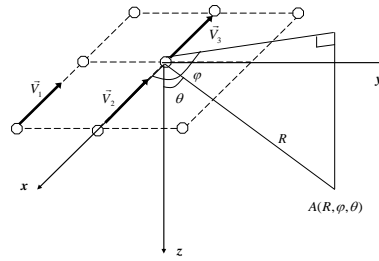


Рисунок 2 – Ескіз синтезованої прямокутної АР при керуванні польотом групи НРЛВ

Реалізація схеми ЦФ ДС на прийом у НА СРБ передбачає розробку відповідного алгоритмічного апарату, а саме: радіокерування групою (РК) НРЛВ на необхідних інтервалах часу для синтезування апертури (СА); синхронізації радіолокаційних складових системи моніторингу; спільної обробки отриманої РЛІ.

Відомо [1,2], що основою побудови багатопозиційної системи із СА є реалізація оптимальних алгоритмів спільної обробки інформації. Так спільна обробка здійснюється при наборі спостережень, вимірів або може бути змішаною.

Структура формування траєкторного сигналу та формування траєкторного сигналу при прямолінійній траєкторії згідно запропонованої методики покращення якісних характеристик зображення об'єкту моніторингу наведені на рис. 3 та рис. 4.

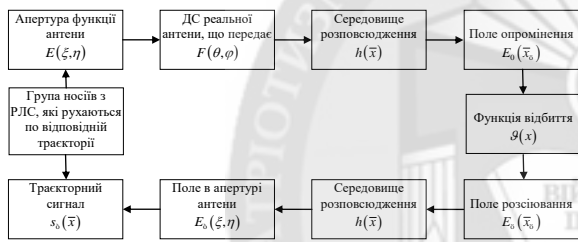


Рисунок 3 – Структура формування траєкторного сигналу

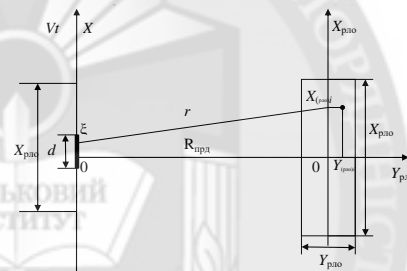


Рисунок 4 – Формування траєкторного сигналу при прямолінійній траєкторії

Поле на синтезованій апертурі, при запропонованій структурі НА РЛС АНБ, має наступний вигляд:

$$E_{CA}(t) = \left(\frac{jk}{2\pi} \right) \exp\{-j2kR_{\text{прд}}\} \times \int_{X_{\text{рло}}} \int_{Y_{\text{рло}}} g(x_{\text{рло}}, y_{\text{рло}}) \exp\{-j2ky_{\text{рло}}\} \exp\left\{-jk \frac{(x_{\text{рло}} - (V_1 + V_2 + \dots + V_n)t)^2}{2R_n}\right\} F^2\left(\frac{x_{\text{ц}} - (V_1 + V_2 + \dots + V_n)t_{\text{СА}}}{2R_{\text{прд}}}\right) dx_{\text{рло}} dy_{\text{рло}} \quad (1)$$

Вимірнювальна частина даної інформаційної системи складається з набору приймачів $i = 1 \dots R_c$ і передавача $j = 1$, що рухаються за власними траєкторіями і характеризуються просторовими координатами $r_i = r_i(t)$, $r_j = r_j(t)$.

При когерентному додаванні сигналів (рис. 5,6) проводиться підстроювання фази сигналу, прийнятого m -м веденим БРЛВ, під фазу сигналу, прийнятого i -м ведучим БРЛВ.

В ОП НПЗОІ розраховуються фази прийнятих сигналів ведучого й веденого БРЛВ за формулами

$$\varphi_i = \arctg\left(\frac{|u_{si}|}{|u_{ci}|}\right); \quad (2)$$

$$\varphi_m = \arctg(|u_{sm}| / |u_{cm}|). \quad (3)$$

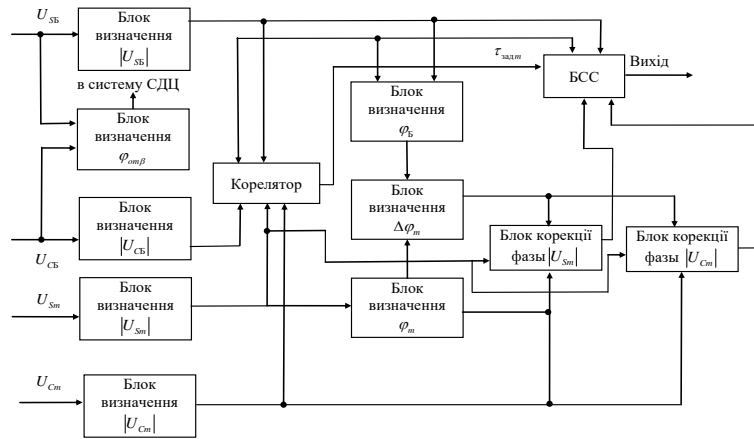


Рисунок 5 – Структурна схема ОП в режимі когерентного додавання

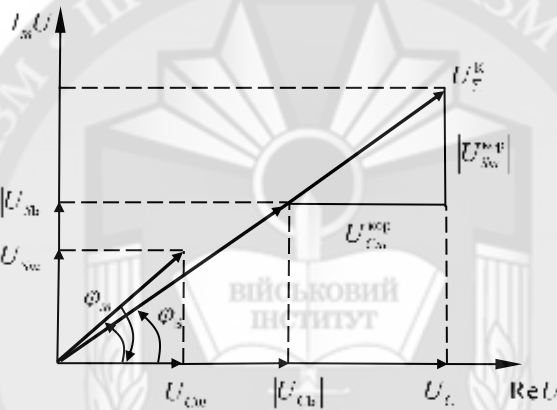


Рисунок 6 – Геометричні співвідношення при когерентному додаванні сигналів

Обчислюється фазовий зсув між сигналами, прийнятими i -м ведучим й m -м веденим БРЛВ,

$$\Delta\varphi_m = \varphi_i - \varphi_m, \quad (4)$$

який використовується в блоках корекції фази й для підстроювання фази сигналу u_m під фазу сигналу u_i за такими співвідношеннями

$$|u_{sm}^{kop}| = |u_{cm}| \cos \Delta\varphi_m - |u_{sm}| \sin \Delta\varphi_m, \quad (5)$$

$$|u_{cm}^{kop}| = |u_{sm}| \cos \Delta\varphi_m + |u_{cm}| \sin \Delta\varphi_m. \quad (6)$$

Коректовані модулі синусної $|u_{sm}^{kop}|$ й косинусної $|u_{cm}^{kop}|$ квадратурних складових подаються в БСС, де складаються у фазі із сигналом ведучого БРЛВ в момент часу, що задається блоком кореляційної прив'язки прийнятих сигналів за дальністю. Результуючий сигнал на виході БСС описується формулами:

$$u_{sk} = |u_{si}| + \sum_{m=2}^M |u_{sm}^{kop}|, \quad (7)$$

$$u_{ck} = |u_{ci}| + \sum_{m=2}^M |u_{cm}^{\text{кор}}|, \quad (8)$$

$$u_{\Sigma}^k = u_{ck} + ju_{sk}. \quad (9)$$

Виконання визначених процедур дозволяє реалізувати напівактивний режим, що здатний забезпечити мінімальну ділянку розділення та збільшення елементів розділення поверхні РЛО. Як відомо збільшення елементів розділення призводить до підвищення імовірності класифікації радіолокаційних об'єктів (рис. 7).

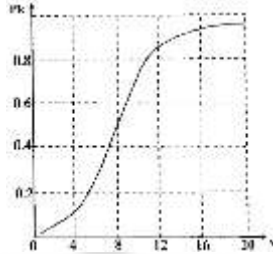


Рисунок 7 – Імовірність правильної класифікації радіолокаційного об'єкту від кількості елементів розділення радіолокаційного об'єкту

Проведена оцінка приросту кількості елементів розділення поверхні РЛО від часу СА при різних значеннях кута нагляду РЛО відносно шляхової швидкості носія θ (рис. 8). Аналіз графіків отриманих результатів показав, що запропонований в роботі режим моніторингу дозволяє значно збільшити приріст елементів розділення поверхні РЛО.

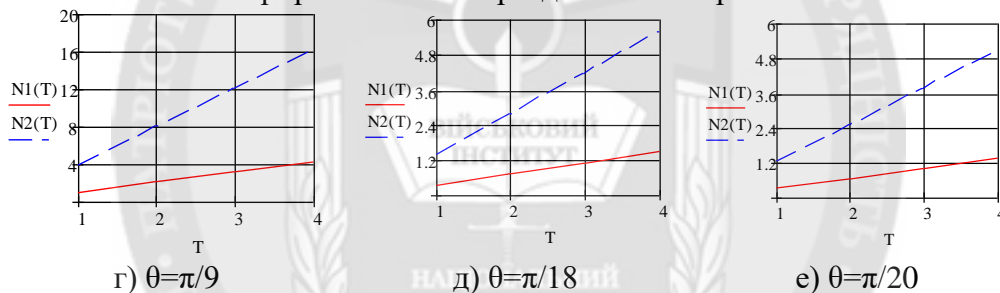
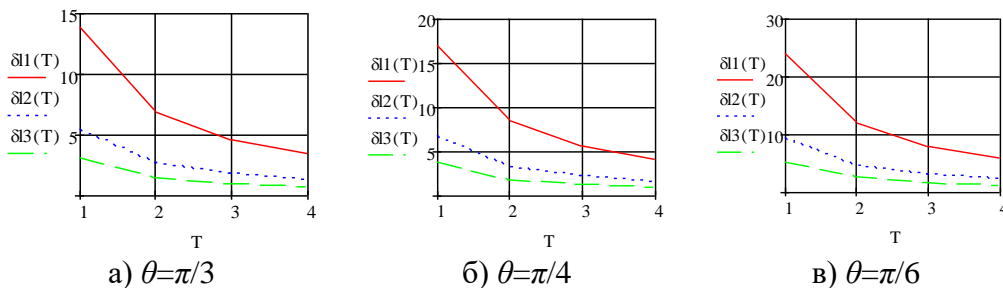


Рисунок 8 – Результати оцінки приросту кількості елементів розділення поверхні РЛО від часу СА для випадків: 1 – моніторинг з однопозиційним СА (N1(T)); 2 – напівактивний режим (N2(T))

Шляхом математичного моделювання була проведена оцінка роздільної здатності за азимутом, радіометричного розділення та динамічного діапазону РЛЗ при застосуванні розробленої методики покращення якісних характеристик зображень, на підставі апробованого математичного апарату. Графіки результатів оцінки даних показників наведені на рис.9-11.



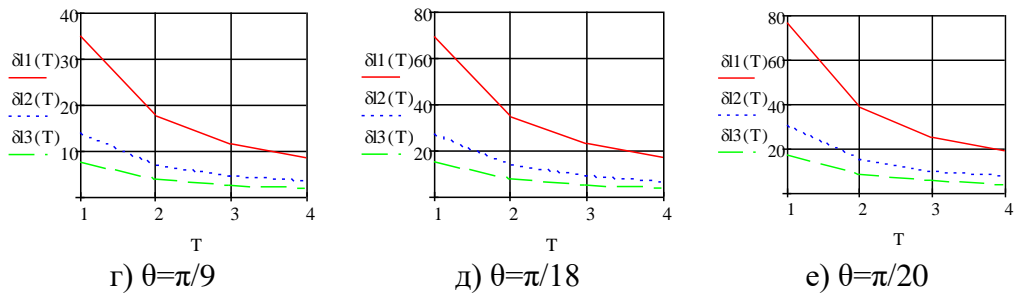


Рисунок 9 – Результати оцінки лінійної роздільності НА СРБ за азимутом для випадків: 1 – моніторинг здійснює один носій ($\delta 11$); 2– моніторинг здійснює один носій в приймальній групі ($\delta 12$); 3– моніторинг здійснює два носія в приймальній групі ($\delta 13$)

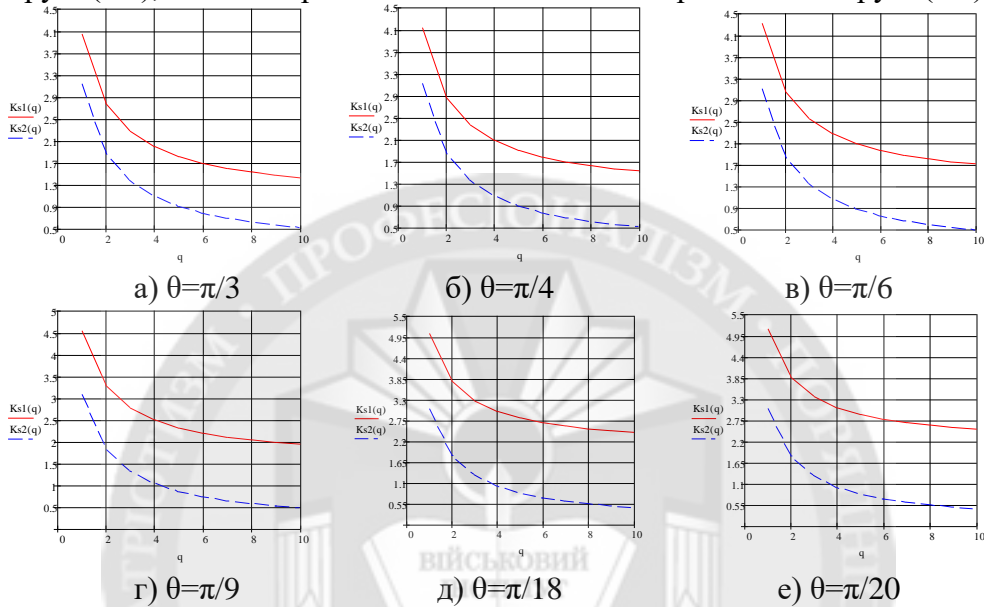


Рисунок 10 – Результати оцінки радіометричного розділення радіолокаційного зображення для випадків при: 1 – однопозиційному СА ($Ks1(q)$); 2 – використанні запропонованого режиму моніторингу СА ($Ks2(q)$)

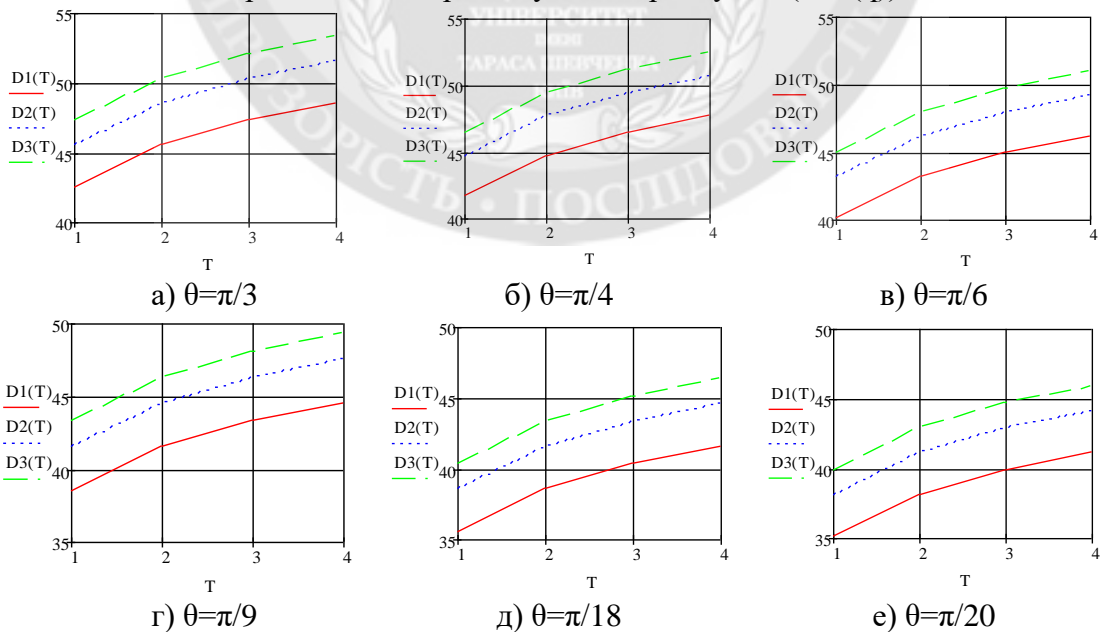


Рисунок 11 – Результати оцінки динаміки зміни динамічного діапазону РЛЗ (після стиснення сигналу) в залежності від часу синтезування апертури для випадків: 1 – моніторинг здійснює один носій ($D1(T)$); 2– моніторинг здійснює два носія в приймальній групі ($D2(T)$); 3– моніторинг здійснює 3 носія в приймальній групі ($D3(T)$)

Одним із перспективних завдань, які вирішуються за використанням ДПЛА, є радіомоніторинг. Розвиток бездротових інфокомунікаційних технологій призвело до суттєвого ускладнення радіоелектронної обстановки. Поряд з істотним збільшенням штатних телевізійних і радіомовних передавачів, стільникових систем зв'язку, спостерігається зростання числа несанкціонованих джерел радіовипромінювання зі зростаючою кількістю паразитних випромінювань, які не відповідають допустимим нормам. Ця обставина вимагає удосконалення технічних і організаційних засобів радіоконтролю.

Перевагою використання ДПЛА, як носіїв технічних засобів радіомоніторингу є: висока мобільність; можливість оперативного нарощування технічних засобів в заданому районі; низька вартість в порівнянні з розгортанням наземної інфраструктури; зниження кількості технічного персоналу для обслуговування визначеної системи моніторингу.

Основним завданням радіомоніторингу є контроль обстановки з метою виконання вимог електромагнітної сумісності різних систем зв'язку, санітарних норм і законодавчих обмежень [3]. Процес радіомоніторингу надається у вигляді послідовності наступних етапів: пошук радіосигналів в широкій смузі частот; виявлення радіосигналу; оцінка його характеристик; аналіз радіосигналу; прийняття рішення про відповідність випромінювання необхідним нормам. На етапі аналізу сигналу одним із основних завдань є ідентифікація джерела радіовипромінювання (ДРВ). Залежно від того до якої системи або стандарту зв'язку відноситься це ДРВ, до нього застосовуються ті чи інші обмеження щодо потужності випромінювання, паразитних випромінювань і т.і.

При розміщенні технічних засобів радіомоніторингу на мобільних носіях можливо два основні варіанти організації процесу.

У першому випадку на носії розміщується апаратура для здійснення пошуку, виявлення, реєстрації та вимірювання параметрів сигналу. Далі, отримані дані передаються на наземний пункт збору та обробки інформації (НПЗОІ), де і відбувається аналіз радіосигналу і прийняття рішення про його відповідність або невідповідність нормам. У другому варіанті, аналіз і прийняття рішення про радіосигнал здійснюється безпосередньо в апаратурі мобільного носія, а на наземний пункт передається інформація про прийняте рішення.

При використанні в якості мобільного носія технічних засобів радіомоніторингу ДПЛА, як правило, вибирається перший варіант реалізації процесу. Дана обставина обумовлена тим, що на масу корисного навантаження ДПЛА накладаються певні обмеження. Однак, постійне вдосконалення елементної бази сучасних обчислювальних пристроїв як за масогабаритними характеристиками, так і за енергоспоживанням дозволяє забезпечити розміщення апаратури аналізу і прийняття рішення на борту малорозмірних ДПЛА. Задачі ідентифікації ДРВ присвячено досить багато робіт вітчизняних і закордонних дослідників [12-15].

Застосування РЛС АНБ дозволяє значно підвищити точність оцінки координат розташування ДРВ у умовах пасивного режиму отримання інформації.

Накопичення просторово-часового сигналу від ДРВ при прямолінійному русі бортового радіолокаційного засобу мобільної системи радіоспостереження, на інтервалі часу радіомоніторингу, дозволяє підвищити точність оцінки азимуту джерела випромінювання:

$$\sigma_{\beta} = \left(k \left[0,88 \frac{\lambda}{\sqrt{\gamma^*} \vartheta t_M} \right]^2 + \left(\beta \frac{0,001 \vartheta}{\vartheta} \right)^2 + 10^{-10} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (10)$$

де: k - коефіцієнт пропорційності, який залежить від форми ДСА та способу виміру кутової координати β ; λ - довжина хвилі; β - азимут НДРВ; ϑ - швидкість руху НРПрМ; t_M - інтервал часу синтезування апертури (СА); γ^* - параметр виявлення радіовипромінювання з ймовірністю правильного виявлення $P_{ПВ} = 0,8$ при заданій ймовірності хибної тривоги $P_{ХТ} = 0,1$.

Відповідним чином організована конфігурація РЛС АНБ на інтервалах часу радіоспостереження надає змогу підвищити точність оцінки координат дислокації

несанкціонованих ДРВ при умові реалізації просторово-часовою синхронізації функціонування рухомих радіолокаційних вимірювачів вище визначеної системи моніторингу.

Висновки. Визначена в роботі структурна побудова радіолокаційної системи авіаційно-наземного базування має вагомні переваги при практичному використанні, а саме: високу точність трансляції й відображення радіолокаційної інформації, практично недосяжну при сучасній технології в аналогових системах; високу завадостійкість запропонованої радіосистеми, можливість ретрансляції й перезапису інформації; малу питому витрату смуги частот та зручність використання часового розподілу інформаційних каналів системи.

Аналіз наведених в роботі результатів показав, що застосування розглянутих радіолокаційних систем авіаційно-наземного базування дозволяє:

- покращити радіометричне розділення зображення в середньому на 12-31 % одним бортовим радіолокаційним засобом у складі запропонованої системи спостереження в залежності від кута нагляду радіолокаційного об'єкту;

- підвищити динамічний діапазон зображення радіолокаційних об'єктів в середньому від 7% (при здійсненні моніторингу двома носіями в приймальній групі) до 12 % (при моніторингу трьома носіями в приймальній групі).

Перспективним завданням, які вирішуються за використанням дистанційно керованих літальних апаратів в якості радіокерованих носіїв локаційних вимірювачів параметрів джерел випромінювання є радіомоніторинг.

Підвищення ефективності радіолокаційних систем авіаційно-наземного базування при вирішенні розглянутих завдань потребує подальшого розвитку науково-методичного апарату аналізу та обробки просторово-часових сигналів від об'єктів моніторингу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Дружинін В. А. Проблеми формування та обробки радіолокаційної інформації в системах радіобачення: монографія. Київ: Логос, 2013. 230 с.

2. Дружинін В. А., Толюпа С.В., Наконечний В.С., Цьопа Н.В., Батрак Є.В. Методи та алгоритми обробки і захисту інформації в радіолокаційних системах із змінною просторовою конфігурацією: монографія. Київ: Логос, 2014. 251 с.

3. Дружинін В. А., Бойко Ю.М., Толюпа С.В. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів у радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завад: монографія. Київ: Логос, 2018. 227 с.

4. Дружинін В.А., Наконечний В.С., Толюпа С.В., Лукова-Чуйко Н.В., Пархоменко І.І. Методи та засоби підвищення ефективності функціонування радіотехнічних систем розпізнавання багатопозиційного базування: монографія. Київ: Формат, 2019. 237 с.

5. Chaturvedi S. K. (2019), "Study of synthetic aperture radar and automatic identification system for ship target detection", Journal of Ocean Engineering and Science. pp. 173–182.

6. L. Gavrilovska, P. Latkoski, V. Atanasovski (2017), "Radio Spectrum: Evaluation Approaches, Coexistence Issues and Monitoring", Computer Networks. №121, pp. 1–12.

7. Q. N. Lu, J. J. Yang, Z. Y. Jin (2017), "State of the Art and Challenges of Radio Spectrum Monitoring in China", Radio Science. Vol.52, Issue 10, pp. 1261–1267.

8. V. V. Pavlikov, K. N. Van, O. M. Tymoshchuk (2016), "Algorithm for Radiometric Imaging by Ultrawideband Systems of Aperture Synthesis", 2016 IEEE Radar Methods and Systems Workshop (RMSW). pp. 103–106. DOI: 10.1109/RMSW.2016.7778561.

9. V. Pavlikov, V. Volosyuk, S. Zhyla (2017), "UWB active aperture synthesis radar the operating principle and development of the radar block diagram" 2017 IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium. pp. 27–30. DOI: 10.1109/MRRS.2017.8075018.

10. V. Pavlikov, V. Volosyuk, S. Zhyla (2017), "A New Method of Multi-Frequency Active Aperture Synthesis for Imaging of SAR Blind Zone Under Aerospace Vehicle", CADSM 2017, pp.118–120.

11. Y. Wang, Z. Gong, R. Zhang (2017), "An improved phase correction algorithm in extended towed array method for passive synthetic aperture", Proceedings of Meetings on Acoustics. pp. 1–14. <https://doi.org/10.1121/2.0000643>.

12. Хрипунов С.П., Чиров Д.С., Благодарящев И.В. Военная робототехника: современные тренды и векторы развития. *Тренды и управление*. Москва. 2015. № 4. С. 410-422.

13. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. – 4-е изд., испр. Москва: Горячая линия - Телеком, 2015. 640 с.
14. Аджемов С.С., Кленов Н.В., Терешонок М.В., Чиров Д.С. Использование искусственных нейронных сетей для классификации источников сигналов в системах когнитивного радио. *Программирование*. Москва: РАН. 2016. № 3. С. 3-11.
15. Attar A.R., Sheikhi A., Abiri H. and Mallahzadeh A. A (2006), “New Method for Communication System Recognition”, *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, Vol. 30, No. B6, pp. 775-778.

REFERENCES:

1. Druzhinin V. A. Problemi formuvannja ta obrobki radiolokacijnoї informacii v sistemah radiobachennja: monografija. Kiiv: Logos, 2013. 230 p.
2. Druzhinin V. A., Toljupa S.V., Nakonechnij V.S., C'opa N.V., Batrak Є.V. Metodi ta algoritmi obrobki i zahistu informacii v radiolokacijnih sistemah iz zminnoju prostorovoju konfiguracieju: monografija. Kiiv: Logos, 2014. 251 p.
3. Druzhinin V. A., Bojko Ju.M., Toljupa S.V. Teoretichni aspekti pidvishhennja zavadostijkosti j efektnosti obrobki signaliv u radiotekhnichnih pristrojah ta zasobah telekomunikacijnih sistem za najavnosti zavod: monografija. Kiiv: Logos, 2018. 227 p.
4. Druzhinin V.A., Nakonechnij V.S., Toljupa S.V., Lukova-Chujko N.V., Parhomenko I.I. Metodi ta zasobi pidvishhennja efektnosti funkcionuvannja radiotekhnichnih sistem rozpiznavannja bagatopozicijnogo bazuvannja: monografija. Kiiv: Format, 2019. 237 p.
5. Chaturvedi S. K. (2019), “Study of synthetic aperture radar and automatic identification system for ship target detection”, *Journal of Ocean Engineering and Science*. pp. 173–182.
6. L. Gavrilovska, P. Latkoski, V. Atanasovski (2017), “Radio Spectrum: Evaluation Approaches, Coexistence Issues and Monitoring”, *Computer Networks*. №121, pp. 1–12.
7. Q. N. Lu, J. J. Yang, Z. Y. Jin (2017), “State of the Art and Challenges of Radio Spectrum Monitoring in China”, *Radio Science*. Vol.52, Issue 10, pp. 1261–1267.
8. V. V. Pavlikov, K. N. Van, O. M. Tymoshchuk (2016), “Algorithm for Radiometric Imaging by Ultrawideband Systems of Aperture Synthesis”, 2016 IEEE Radar Methods and Systems Workshop (RMSW). pp. 103–106. DOI: 10.1109/RMSW.2016.7778561.
9. V. Pavlikov, V. Volosyuk, S. Zhyla (2017), “UWB active aperture synthesis radar the operating principle and development of the radar block diagram” 2017 IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium. pp. 27–30. DOI: 10.1109/MRRS.2017.8075018.
10. V. Pavlikov, V. Volosyuk, S. Zhyla (2017), “A New Method of Multi-Frequency Active Aperture Synthesis for Imaging of SAR Blind Zone Under Aerospace Vehicle”, *CADSM 2017*, pp.118–120.
11. Y. Wang, Z. Gong, R. Zhang (2017), “An improved phase correction algorithm in extended towed array method for passive synthetic aperture”, *Proceedings of Meetings on Acoustics*. pp. 1–14. <https://doi.org/10.1121/2.0000643>.
12. Hripunov S.P., Chirov D.S., Blagodarjashhev I.V. (2015), “Voennaja robototekhnika: sovremennye trendy i vektory razvitija”, *Trendy i upravlenie*. Moskva, № 4, pp. 410-422.
13. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. – 4-е изд., испр. Москва: Горькая линия - Телеком, 2015. 640 с.
14. Adzhemov S.S., Klenov N.V., Tereshonok M.V., Chirov D.S. (2016), “Ispol'zovanie iskusstvennyh nejronnyh setej dlja klassifikacii istochnikov signalov v sistemah kognitivnogo radio”, *Programmirovanie*, Moskva: RAN, № 3. pp. 3-11.
15. Attar A.R., Sheikhi A., Abiri H. and Mallahzadeh A. A (2006), “New Method for Communication System Recognition”, *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, Vol. 30, No. B6, pp. 775-778.

д.т.н., проф. Дружинин В.А., к.т.н. Цьопа Н.В.,
к.т.н., с.н.с. Жиров Г.Б., к.т.н., доц. Четвериков И.А.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ АВИАЦИОННО-НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ ВО ВРЕМЕНИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ

Работа посвящена рассмотрению современного состояния и тенденций развития радиолокационных систем авиационно-наземного базирования с переменной во времени относительной пространственной конфигурацией. Актуальность анализа состояния и тенденций развития радиолокационных систем авиационно-наземного базирования с переменной во времени относительной пространственной конфигурацией обусловлена практической необходимостью получения радиолокационных изображений объектов в передней зоне обзора системы с учетом возрастающих требований к оперативности и точности определения (обнаружения) изображений объектов наблюдения в реальном масштабе времени в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки.

Приведена обобщенная структура построения рассмотренных в работе систем и определены основные перспективы их практического применения при решении задач классификации радиолокационных объектов и мониторинга источников радиоизлучения.

Приведены оценки основных качественных характеристик изображений радиолокационных объектов при применении при применении рассмотренных систем и оценки точности определения координат источников радиоизлучения на основании апробированного математического аппарата.

Определены приоритетные направления научных исследований по дальнейшему развитию теории многопозиционного приема радиолокационной информации в условиях информационной неопределенности при использовании систем с переменной во времени относительной пространственной конфигурацией.

Ключевые слова: радиолокационные системы авиационно-наземного базирования с переменной во времени относительной пространственной конфигурацией, радиолокационный объект, радиолокационное изображение, разрешение по азимуту, радиомониторинг, радиометрической разделения, динамический диапазон.

doctor of sciences Druzhynin V., Ph.D Tsopa N., Ph.D Zhyrov H., Ph.D Chetverikov I. CURRENT STATUS AND DEVELOPMENT TRENDS OF RADAR SYSTEMS AIRBORNE BASED WITH TIME-VARYING RELATIVE SPATIAL CONFIGURATION

The work is devoted to the review of the current state and development trends of airborne-based radar systems with a time-varying relative spatial configuration. The relevance of consideration of the state and tendencies of development of radar systems of aviation-ground based with time-varying relative spatial configuration due to the practical need to obtain radar images (radars) of objects in the front area of the system review, taking into account the growing requirements for promptness and accuracy of image detection of real-time surveillance in a complex signal-interference environment.

The generalized structure of the construction of the systems considered in the work is presented and the main prospects for their practical application in solving the problems of classifying radar objects and monitoring radio emission sources are determined.

Estimates are given of the main qualitative characteristics of the images of radar objects when applied when using the systems considered and the accuracy of determining the coordinates of radio emission sources is estimated based on an approved mathematical apparatus.

The priority areas of scientific research on the further development of the theory of multi-positional reception of radar information in the conditions of information uncertainty when using systems with a time-variable relative spatial configuration are determined.

Keywords: airborne-based radar systems with time-varying relative spatial configuration, radar object, radar image, azimuth resolution, radio monitoring, radiometric separation, dynamic range.